

**О.М. Терентьев, д-р. техн. наук, проф, ORCID 0000-0003-2523-2804****А.Й. Клещов, канд. техн. наук., ORCID 0000-0002-9412-4156****А.І. Крючков, канд. техн. наук., доцент, ORCID 0000-0002-2234-0546****М.І. Сергієнко, ORCID 0000-0001-8284-9072****Національний технічний університет України “Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського”**

## **ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПРИ КЛАСИЧНОМУ І МОЛЕКУЛЯРНО-ХВИЛЬОВОМУ ПІДХОДАХ**

*У статті розглянуті актуальні питання підвищення ефективності руйнування гірських порід застосуванням класичного підходу на основі задачі Бусинеска з використанням гіпотези контурів деформації. Визначені умови формування ядра ущільнення при руйнуванні гірської породи різцем ковша роторного екскаватора. Встановлений зв'язок геометричних параметрів ядра ущільнення та механічних характеристик процесу руйнування гірської породи різцем ковша. Використаний аналітичний підхід дозволив розрахувати теоретичну та експлуатаційну продуктивність копання роторного екскаватора в залежності від фізико-механічних властивостей гірських порід. Встановлені енергетичні та технологічні параметри процесів копання дозволили встановити вплив геометричних, кінематичних та динамічних чинників на питому енергоємність руйнування гірської породи ротором екскаватора. Одержані залежності потужності процесу копання від його продуктивності свідчать про їх екстремальний зв'язок, що дозволяє встановити режими копання і знизити енергоємність процесу.*

**Ключові слова:** гірська порода, роторний екскаватор, руйнування, ядро ущільнення, продуктивність, питома енергоємність, ККД, якість екскавації.

**Вступ.** Ефективність процесів руйнування породного масиву робочим органом визначається оптимальністю функціонування систем типу “Породний масив – робочий орган – привод”. Керування системою вимагає встановлення якісно-кількісних співвідношень і просторових форм параметрів системи.

**Обґрунтування актуальності питань, що розглядаються.** При руйнуванні гірської породи відбувається вигин і розриви контурів з наступним відколом елементів масиву. У результаті виникнення мікротріщин розриву і мікро сколювання елементів породного масиву утворюється ядро ущільнення. Через диспергований матеріал в ядрі ущільнення на масив діє гнучке навантаження зі сферичним розподілом тиску, з максимальним значенням тиску у центрі площадки контакту. З ростом зовнішньої сили, а, отже, і внутрішніх опорів породного масиву у ньому накопичується потенціальна енергія. Прогин контурів і тиск на поверхні контакту збільшуються, відповідно зростає напруження. Зруйнований матеріал інтенсивно видаляється через зазори між ріжучим інструментом і гірською породою. Виникаючи при цьому сили тертя часток розтягують контур. Його максимальне подовження спостерігається у вершині ядра ущільнення. Це зумовлено тим, що контур у вершині сприймає найбільший тиск і відносно подовження. При досягненні цими величинами критичних значень у вершині ядра починається утворення тріщини відриву великого елемента стружки. Розкриття тріщини відбувається у бік вільної поверхні породного масиву.

**Новизна роботи** полягає в обґрунтуванні технологічних параметрів руйнування гірських порід при класичному й молекулярно-хвильовому підходах. Внаслідок концентрації напруження у вершині тріщини виникає хвильовий перерозподіл накопиченої породним масивом енергії. Тиск породного масиву під інструментом робочого органу викликає на поверхні масиву контактні напруження і руйнування його поверхневого шару. Це сприяє утворенню нової вільної поверхні. Значні розміри масиву забезпечують защемлення (лідуючих) верхніх контурів, вигин без зближення їхніх кінців до осі навантаження. Рівняння кривої описується функцією прогинів, яка визначається рішенням задачі Бусинеска [1]. При подальшому розтягненні контуру утворюються розриви в місцях максимального прогину. При достатньому зануренні інструмента відділення матеріалу, унаслідок зрушення, припиняється і ріст ядра ущільнення зупиняється.

**Мета і задачі дослідження.** Метою є вибір та обґрунтування виробничих граничних умов руйнування гірських порід а саме продуктивність, питома енергоємність, ККД та якість екскавації, при класичному й молекулярно-хвильовому підходах і розробка методики їх розрахунку.

Для реалізації мети поставлені наступні **задачі**. 1. З'ясувати можливість об'ємного моделювання ядра ущільнення при руйнуванні породного масиву. 2. Встановити залежності продуктивності, питомої енергоємності, ККД руйнування і якості руйнування вибою. 3. Розробити математичні моделі функціонування гірничих машин при класичному й молекулярно-хвильовому руйнуванні вибоїв. 4. Підготувати висновки і практичні рекомендації по вибору та забезпеченню технологічних виробничих граничних умов руйнування гірських порід.

**Методи дослідження** передбачають: використання задачі Буссинеска для моделювання контурів розтягнення вибою. Об'ємного моделювання елементів руйнування вибою. Математичні методи встановлення закономірності продуктивності, питомої енергоємності, ККД руйнування і якості функціонування машини.

**Основні результати та їх обговорення.** Занурення інструменту у породний масив супроводжується ущільненням елементів масиву з наступним обтіканням утвореного ядра породою, що руйнується. Ядро ущільнення з достатнім ступенем точності апроксимується замкнутою центральною поверхнею другого порядку, типу еліптичного параболоїда. Розрахункову схему визначення висоти ядра ущільнення пружно-пластичного масиву показано на рис. 1.

Тиск навантаження пружно-пластичного масиву для розриву контуру у вершині ядра [2, 3], Па:

$$P_0 = P_k \cdot e^{-f \cdot (h_{\text{я}} - h_1)}, \quad (1)$$

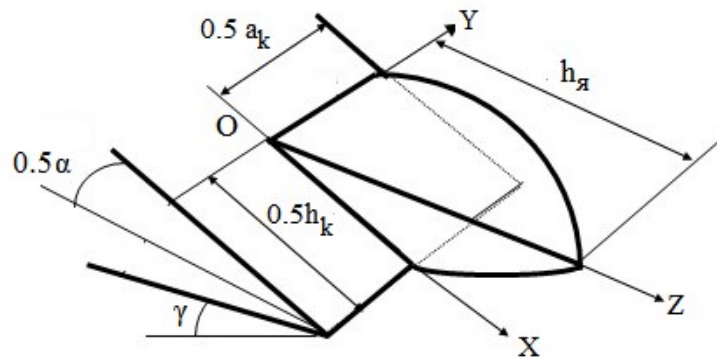


Рисунок 1 - Розрахункова схема визначення висоти ядра ущільнення

де  $P_k$  - контактна міцність породного масиву, Па;

$f=10/h_b$  – коефіцієнт згасання тиску під інструментом при збільшенні глибини занурення інструменту у породний масив, 1/м [3];

$h_{\text{я}}$  і  $h_1$  – відповідно висота ядра ущільнення гірської маси перед інструментом і довжина стрілки округлення крайки інструменту, м.

Кількісне значення стрілки округлення крайки інструменту на порядок менше висоти ядра ущільнення. Тому її значенням можна знехтувати без суттєвого погіршення результату. Тиск  $P_0$  у центрі площадки контакту інструмента з породним масивом приймає вигляд (1).

Глибина занурення інструмента в породний масив  $h_b$  визначається зусиллям подачі, що переборює реакцію середовища, м:

$$h_b = F / (\sigma_c \cdot \sqrt{2} \cdot a_k) = P \cdot S / (\sigma_c \cdot \sqrt{2} \cdot a_k \cdot N_i), \quad (2)$$

де  $F$  - зусилля подачі, Н;

$\sigma_c$  - межа міцності породного масиву на стиснення, Па;

$a_k$  - половина ширини контакту інструмента із породним масивом, м;

$\sqrt{2} \cdot a_k$  - половина ширини контуру, на якому діє контактний тиск, м;  
 $P$  - тиск на площі контакту  $S$  інструмента із породним масивом, Па;  
 $N_i$  - кількість інструментів за схемою руйнування породного масиву, шт.

Тиск на площадці контакту інструмента із породним масивом  $P$  з урахуванням потужності приводу базової машини, Па:

$$P = (\eta_p \cdot \sqrt{N_{\Pi}^2 + N_p^2}) / \left( \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_p^2} \cdot S \right) \quad (3)$$

де  $N_{\Pi}$ ,  $N_p$  - відповідно потужність приводу подачі і різання, Вт;

$\eta_p$  - ККД редуктора приводу,

$V_{\Pi}$ ,  $V_p$  - відповідно середні швидкості подачі, різання, м/с;

$S$  - площа контакту інструмента із породним масивом, м<sup>2</sup>.

Розв'язуючи (1) відносно  $h_y$ , одержимо:

$$P_0 = P_k \cdot e^{-fh_y} \Rightarrow \frac{P_0}{P_k} = e^{-fh_y} \Rightarrow \ln \frac{P_0}{P_k} = -fh_y \Rightarrow h_y = \frac{1}{f} \ln \frac{P_k}{P_0}. \quad (4)$$

Значення висоти ядра ущільнення в залежності від параметрів породного масиву, робочого органу і приводу отримані після підстановки в (4) значення величин правої частини. З урахуванням того, що

$$P_0 = \frac{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_p \cdot E}}{\pi \cdot (1 - v^2)} \quad \text{висота ядра ущільнення:}$$

$$h_y = \frac{\eta \cdot \sqrt{N_{\Pi}^2 + N_p^2} \cdot \ln(P_k/P_0)}{10 \cdot \sqrt{2} \cdot a_k \cdot \sigma_0 \cdot \eta_p \cdot N_i \cdot \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_p^2}} = \frac{\eta \cdot \sqrt{N_{\Pi}^2 + N_p^2} \cdot \ln[P_k \cdot \pi \cdot (1 - v^2) / (2 \cdot \sqrt{2 \sigma_p \cdot E})]}{10 \cdot \sqrt{2} \cdot a_k \cdot \sigma_0 \cdot \eta_p \cdot N_i \cdot \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_p^2}}. \quad (5)$$

де  $v$  - коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_p$  - межа міцності породного масиву на розрив, Па;

$E$  - модуль пружності масиву першого роду, Па;

$\sigma_c$  - межа міцності породного масиву на стиснення, Па.

Для спрощення (1.5) з урахуванням [4, 5] що,  $\sigma_p = (0.25 \dots 0.35) \sigma_0 = 0.3 \cdot \sigma_0$ ;

$\tau = (0.1 \dots 0.6) \cdot \sigma_0 = 0.5 \cdot \sigma_0$ ;  $E = (120 \dots 160) \cdot \sigma_0 = 150 \cdot \sigma_0$ ;  $\sigma_0 = 63 \cdot P_k^{0.6}$ .

$$P_k^{0.5} = \frac{\sigma_0}{63} \Rightarrow P_k = \left( \frac{\sigma_0}{63} \right)^{\frac{3}{5}} = 3 \sqrt[5]{\left( \frac{\sigma_0}{63} \right)^5} = 63^{-\frac{5}{3}} \cdot \sigma_0^{\frac{5}{3}} = (0.015873) \cdot \sigma_0^{1.67}$$

Тоді висота ядра ущільнення (6)

$$h_y = \frac{\sqrt{N_{\Pi}^2 + N_p^2} \cdot \ln \left[ (0.015873 \cdot \sigma_0)^{1.67} \cdot \pi \cdot (1 - v^2) / (18.9737 \cdot \sigma_0) \right]}{14.1 \cdot a_k \cdot \sigma_0 \cdot \eta \cdot N_i \cdot \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_p^2}}. \quad (6)$$

Об'єм ядра ущільнення на зубі ковша роторного екскаватора CPC - 2000-28/3.5 при розробці породних масивів розраховувався відповідно по формулі:

$$V_{\text{я}} = \pi \cdot a_k \cdot h_k \cdot h_z \quad (7)$$

Розрахунок проведено на прикладі розробки гірських порід з модулем пружності  $E=2,1$  ГПа роторним екскаватором SRS - 2000-28/3,5 (табл. 1).

Таблиця 1 - Кількісні значення параметрів математичної моделі функціонування роторного екскаватора SRS - 2000-28/3.5

Параметр	Символьний вид	Розмірність	Чисельне значення	Бібліографічне джерело
1	2	3	4	5
1. Кількість різців ківша	$N_i$	Шт	9	[6]
2. Питома поверхнева енергія масиву	$\gamma$	Дж/м <sup>2</sup>	33E-03	[7]
3. Постійна кристалічних ґрат	$Y_0$	М	2.14E-10	[7]
4. Радіус міжмолекулярних сил	$a_0$	м	1.85E-10	[7]
5. Розвал різ	$B$	м	$B1(I)=HJ^*.21^{\wedge}$	-
6. Шлях наповнення ківша	$L_n$	м	6.28	[8]
7. Потужність приводу подачі	$N_n$	Вт	466000	[8]
8. Потужність приводу різання	$N_p$	Вт	126000	[9]
9. Модуль Юнга вибою	$E$	Па	210E10 <sup>6</sup>	[9]
10. Коефіцієнт Пуассона	$\nu$	-	0.3	[10]
11. На півширина різця	$a_k$	м	0.049	[6]
12. Швидкість різання	$V_p$	м/с	2.94	[6]
13. Швидкість подачі	$V_n$	м/с	0.33	[6]
14. ККД руйнування	$\eta_p$	відн.од.	0.04	[9]
15. Контактна міцність масиву	$P_y$	Па	37 500 000	[9]
16. Опір руйнуванню	$\tau$	Па	3 000 000	[10]
17. Ширина ріжучої крайки	$L_l$	м	0.44	[6]
18. Глибина занурення зубка	$h_b$	м	0,085	[8]
19. Кількість ковшів на роторі	$N_k$	Шт	22	[8]
20. Коефіцієнт наповнення	$K_n$	відн.од.	0.8	-
21. Продуктивність	$\Pi$	м <sup>3</sup>	-	[8]
22. Питома енергоємність	$Q$	Вт год/м <sup>3</sup>	табл.2	[8]
23. ККД	$\eta$	%	табл.2	
24. Якість	$K$	(м <sup>3</sup> /год)/гр	табл. 3	
25. Вартість години робіт	$C$	Гривни	12.55	[11]

Коефіцієнт корисної дії при руйнуванні породного масиву:

$$\eta = \frac{A_c}{A_c + A_{\text{я}}} = \frac{A_c}{A_{\Pi}} = \frac{(X_p - h_{\text{я}}) \cdot (V_p - V_{\text{я}})}{V_p \cdot X_p} \cdot 100, \% \quad (8)$$

де  $A_c = F_{\Pi} \cdot (X_p - h_{\text{я}}) \cdot K_v = F_{\Pi} \cdot (X_p - h_{\text{я}}) \cdot (V_p - V_{\text{я}}) / V_p$  - робота, що витрачається на утворення стружки, Дж;

$F_{\Pi} = N_n / V_n$  - зусилля на зубцях ківша ротора, Н;

$N_n$  - потужність приводу подачі екскаватора, Вт;

$V_n$  - швидкість подачі екскаватора, м/с;

$h_{\text{я}}$  - висота ядра ущільнення, м;

$K_v = (V_p - V_{\text{я}}) / V_p$  - коефіцієнт, що враховує утворення нових об'ємів при руйнуванні

породного масиву;

$V_p$  - об'єм елемента, відокремлюваного від масиву за один цикл руйнування, м<sup>3</sup>;

$V_{я}$  - об'єм ядра ущільнення породного масиву, м<sup>3</sup>;

$A_{я} = F_{я} \cdot h_{я} = 0.5 \cdot k \cdot h_{я}^2$  - робота, необхідна для ущільнення (стиснення) елементів породного масиву, Дж;

$k = N_{\Pi} / (0.5 \cdot g_{\Pi} \cdot h_{я})$  - коефіцієнт жорсткості ядра ущільнення, Н/м;

Лінійний розмір елемента руйнування породного масиву, що відповідає переміщенню ріжучої крайки зуба ківша екскаватора, необхідному для утворення елементарної стружки й відділення її від масиву, м:

$$X_p = \pm \sqrt{\frac{2h_{я}^2 \pm \sqrt{(2h_{я}^2)^2 + 4((1.1 \cdot h_{я})^4 - h_{я}^4)}}{2}}. \quad (9)$$

Експлуатаційна продуктивність екскавції:

$$P = \frac{\kappa_{\Sigma} \cdot V_c \cdot 2A_k \cdot n_i \cdot (n_k / 4) \cdot h_p \cdot K_v \cdot V_p \cdot 3600}{T_1 \cdot V_{я}}, \quad (10)$$

де  $\kappa_{\Sigma} = 0.6$  - коефіцієнт переходу від теоретичної продуктивності до експлуатаційної;

$V_c$  і  $V_{я}$  - відповідно, об'єм стружки і ядра ущільнення, м<sup>3</sup>;

$A_k = 0.049$  - напівширина зубка на ковші екскаватора, м;

$n_i = 9$  - кількість зубків на ковші, шт;

$n_k = 22$  - кількість ковшів на роторному колесі екскаватора, шт.;

$h_p = 1.5A_k$  - глибина занурення зубка у породний масив, м;

$K_v = 0.8$  - коефіцієнт наповнення ковша;

$V_p = 2.94$  - швидкість різання, м/с;

$T_1 = 30$  тривалість циклу з урахуванням швидкості обертання ротора й часу на повторне занурення у породний масив конкретного зубка, с.

Питома енергоємність руйнування:

$$q = N_{\Pi} / P, \quad (11)$$

де  $N_{\Pi}$  - потужність привода подачі екскаватора, Вт.

Якість екскавції:

$$K = P / C, \quad (12)$$

де  $C$  - вартість екскавції одного метра кубічного, грн.

За результатами розрахунку продуктивності й питомої енергоємності (табл. 2) та ККД і якості екскавції (табл.3) роторного екскаватора CPC- 2000-28/3.5 при керуванні швидкістю різання побудовані залежності висоти ядра ущільнення  $h_{я}$ , об'ємів ядра  $V_{я}$  й стружки  $V_c$  (рис.2) і ВГУ (рис. 3) від швидкості різання.

Таблиця 2 - Продуктивність й питома енергоємність роторного екскаватора CPC- 2000-28/3.5 при керуванні швидкістю різання

Швидкість різання, $V_p$ , м/с	Висота ядра ущільнення, $h_{я}$ , м	Об'єм ядра ущільнення, $V_{я}$ , м <sup>3</sup>	Об'єм стружки, $V_c$ , м <sup>3</sup>	Продуктивність, $P$ , м <sup>3</sup> / год	Питома енергоємність, $q$ , Вт·год/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0.20	10.376 E-02	15.906 E-06	70.892 E-05	2063.10	61.073E+00
0.65	10.155 E-02	15.567 E-06	81.618 E-05	2426.99	51.916E+00
1.10	97.407 E-03	14.932 E-06	80.555 E-05	2497.25	50.456E+00
1.55	91.999 E-03	14.103 E-06	79.127 E-05	2597.18	48.514E+00
2.00	85.991 E-03	13.182 E-06	15.891 E-04	5580.18	22.580E+00
2.45	79.896 E-03	12.248 E-06	14.312 E-04	5409.09	23.294E+00
2.90	74.042E-03	11.351 E-06	13.006 E-04	5304.12	23.755E+00

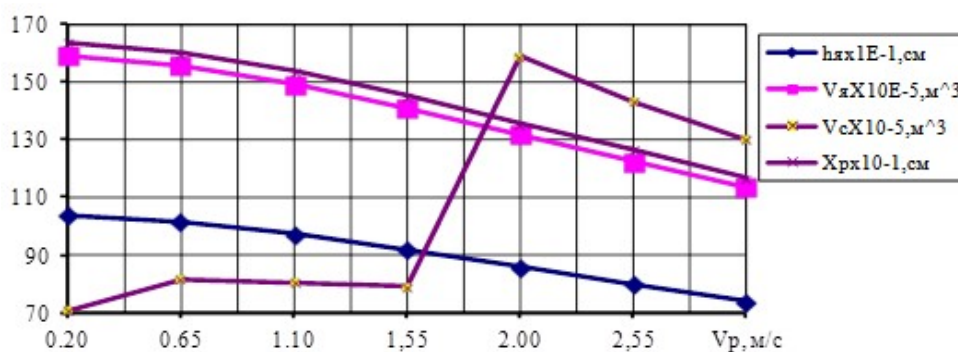
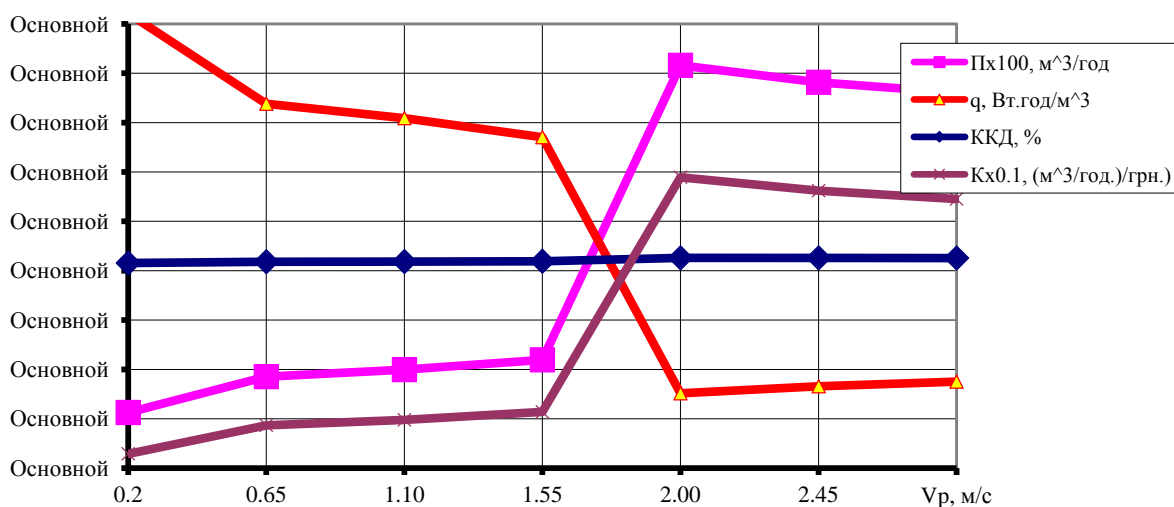
Рисунок 2 - Залежності висоти ядра ущільнення  $h_{я}$ , об'ємів ядра  $V_{я}$  й стружки  $V_c$  від швидкості різання

Рисунок 3 - Залежність продуктивності, питомої енергоємності, ККД і якості екскавації від швидкості різання роторного екскаватора SRS - 2000-28/3,5

Таблиця 3 - Результати розрахунку ККД і якості функціонування екскаватора SRS-2000-28/3.5 при керуванні швидкістю різання

Швидкість різання, $V_p, \text{м/с}$	Довжина елемента руйнування, $X_p, \text{м}$	Об'єм ядра ущільнення, $V_{я}, \text{м}^3$	Об'єм стружки, $V_c, \text{м}^3$	ККД, $\eta, \%$	Якість $K, (\text{м}^3/\text{год.})/\text{Грн.}$
1	2	3	4	5	6
0.20	16.367 E-02	15.906E-06	70.892 E-05	35.78	16.439 E-01
0.65	16.018 E-02	15.567E-06	81.618 E-05	35.90	19.339 E-01
1.10	15.364E-02	14.932E-06	80.555 E-05	35.92	19.898 E-01
1.55	14.511E-02	14.103E-06	79.127 E-05	35.95	20.695 E-01
2.00	13.564 E-02	13.103E-06	15.891 E-04	36.30	44.464 E-01
2.45	12.608 E-02	12.248E-06	14.312 E-04	36.29	43.100 E-01
2.90	11.619 E-02	11.315E-06	13.006 E-04	36.28	42.264 E-01

Найменування показників, символічні і машинні позначення, їхня розмірність, початкові і кінцеві значення, а також крок змінних зведені в табл. 4.

Таблиця 4 - Найменування показників, символічні позначення, їхня розмірність, початкові і кінцеві значення змінних

Найменування параметра	Символ у математ. моделі.	Розмірність	Початкові значення	Кінцеві значення
1	2	4	5	6
Висота ядра ущільнення	Ня	М	5.7E-03	2.0E-02
Потужність приводу подачі	Nп	КВт	222	-
Потужність приводу різання	Nр	КВт	466	-
Межа міцності масиву на стиск	$\sigma_{ст}$	Па	1E+07	25E+07
Коефіцієнт Пуассона	$\nu$	-	0.3	-
Напівширина інструмента	ак	м	0.1	0.3
КПД трансмісії	$\eta_p$	-	0.75	-
Швидкість подачі	Vп	м/з	0.33	-
Швидкість різання	Vр	м/з	2.36	-
Напруга зрушення	$\sigma_p = 0.3 \cdot \sigma_{ст}$	Па	1E+07	25E+07
Глибина різання	hр	М	0.113	-
Питоме зусилля різання	Rуп	Па	1.4E+06	-
Кут загострення інструменту	$\theta$	Рад-н	20*0.17	120*.17
Об'єм ядра ущільнення	Vя	м <sup>3</sup>	3.6E-06	4.94E-05

Результати розрахунку приведені в табл. 5 для масивів, що відрізняються межею міцності на стиск: вугільний прошарок - 10 МПа; аргілітові включення - 70 МПа; масив пісковику грубозернистого - 130 МПа; міцні гранітні масиви - (190...250) МПа.

Таблиця 5 – Показники функціонування екскаватора SRS-2000 28/35

Ня, м	G0, МПа	Ак, м	Vп, м/с	hk, м	VJ, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0.02035	10	0.10	0.33	0.046332	0.0000494
0.01018	10	0.20	0.33	0.046332	0.0000494
0.00678	10	0.30	0.33	0.046332	0.0000494
0.00462	70	0.10	0.33	0.040576	0.0000102
0.00241	70	0.20	0.33	0.040576	0.0000102
0.00161	70	0.30	0.33	0.040576	0.0000102
0.00292	130	0.10	0.33	0.040170	0.0000061
0.00146	130	0.20	0.33	0.040170	0.0000061
0.00097	130	0.30	0.33	0.040170	0.0000061
0.00213	190	0.10	0.33	0.040022	0.0000045
0.00107	190	0.20	0.33	0.040022	0.0000045
0.00071	190	0.30	0.33	0.040022	0.0000045
0.00170	250	0.10	0.33	0.039945	0.0000036
0.00085	250	0.20	0.33	0.039945	0.0000036
0.00057	250	0.30	0.33	0.039945	0.0000036

## Висновки

1. Обрані і обґрунтовані виробничі граничні умови руйнування гірських порід, а саме продуктивність, питома енергоємність, ККД та якість екскавації, при класичному й молекулярно-хвильовому підходах і розроблена методика їх розрахунку.

2. Встановлення якісно-кількісних співвідношень і просторових форм параметрів системи за допомогою розроблених математичних аналогів, які дозволили знизити втрати енергії при руйнуванні гірських порід.

3. За рахунок регулювання параметрами ядра ущільнення отримана 10 відсоткова збіжність аналітичних і експериментальні залежностей збільшення продуктивності з 2000 до 55000 м<sup>3</sup>/год та ККД з 30 до 35 % в діапазоні швидкості різання роторного екскаватора SRS - 2000-28/3,5 від 1.35 до 2.0 м/с

4. Питома енергоємність руйнування гірського масиву роторним екскаватором SRS - 2000-28/3,5 зменшилася з 48 до 20 Вт·год/м<sup>3</sup> при контактній міцності масиву 37,0 МПа, опорі руйнуванню 3,0 МПа, модулі Юнга 210,0 МПа та коефіцієнті Пуассона 0,3.

## Список використаної літератури

1. Коробова О. А. Лекции по Механике грунтов. [Текст]/О. Коробова - Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 2015 – 120 с.

2. Вихман Э. Квантовая механика /Э. Вихман [Перевод с англ. А.Казарин] М.: Наука, 1996. – 390с.
3. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород / Ю.И. Протасов - М.: Недра, 2002. - 453 с.
4. Солод В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Перов – М.: Недра, 1998. – 503 с.
5. Суриков В.В. Механика разрушения мерзлых грунтов / В.В. Суриков – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1998. – 128 с.
6. Горовой А.И. Справочник по горно - транспортным машинам непрерывного действия / А.И. Горовой. – М.: Недра, отредактирован 04.09.2011 – 367 с.
7. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Д. Бакли : [пер. с англ. К. Павлова]. - М.: Машиностроение, 1996. – 360 с. Отредактирован 09.09.2016
8. Владимиров В.М. Карьерные роторные экскаваторы /В.М. Владимиров. - М.: Недра, 1992. - 278 с Отредактирован 25.10.2012
9. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. /Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодяконова. - М.: Недра, 1995. -379 с. Отредактирован 07.05.2009
10. Гетопанов В.Н. Горные и транспортные машины и комплексы / В.Н. Гетопанов, Н.С. Гудилин. - М.: Недра, 1991. - 304 с.
11. Рекомендации составления планово-расчетных цен на строительные материалы, конструкции и изделия, эксплуатацию строительных машин и механизмов, услуги автотранспорта и продукцию подсобного производства. (1 этап)/Министерство транспортного строительства. - Главное научно - техническое управление. Всесоюзный проектно - технологический институт транспортного строительства. – М.: ВНИТРАНССТРОЙ, 1990. -229 с.

**УДК 022.33: 621.86.0676622.271.4**

**О.М. Терентьев**, д-р. техн. наук, проф, **ORCID** 0000-0003-2523-2804

**А.И. Клещев**, канд. техн. наук, **ORCID** 0000-0002-9412-4156

**А.И. Крючков**, канд. техн. наук., доцент, **ORCID** 0000-0002-2234-0546

**Н.И. Сергиенко**, **ORCID** 0000-0001-8284-9072

**Национальный технический университет Украины "Киевский Политехнический Институт имени Игоря Сикорского"**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ КЛАССИЧЕСКОМ И МОЛЕКУЛЯРНО-ВОЛНОВОМУ ПОДХОДАХ**

*В статье рассмотрены актуальные вопросы повышения эффективности разрушения горных пород применением классического подхода на основе задачи Бусинеска с использованием гипотезы контуров деформации. Определены условия формирования ядра уплотнения при разрушении горной породы резцом ковша роторного экскаватора. Установлена связь геометрических параметров ядра уплотнения и механических характеристик процесса разрушения горной породы резцом ковша. Использованный аналитический подход позволил рассчитать теоретическую и эксплуатационную производительность копания роторного экскаватора в зависимости от физико-механических свойств горных пород. Установленные энергетические и технологические параметры процессов копания позволили установить влияние геометрических, кинематических и динамических факторов на удельную энергоёмкость разрушения горной породы ротором экскаватора. Полученные зависимости мощности процесса копания от его производительности свидетельствуют об их экстремальной связи, что позволяет установить режимы копания и снизить энергоёмкость процесса.*

**Ключевые слова:** горная порода, роторный экскаватор, разрушение, ядро уплотнения, удельная энергоёмкость, производительность, КПД, качество экскавации.

**O. Terentyev**, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0003-2523-2804

**A. Kleshchev**, Cand. Sc. (Eng), **ORCID** 0000-0002-9412-4156

**A. Kryuchkov**, Cand. Sc. (Eng), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0002-2234-0546

**N. Sergienko**, **ORCID** 0000-0001-8284-9072

**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

## **TECHNOLOGICAL PARAMETERS DESTRUCTION OF ROCKS AT CLASSICAL AND MOLECULAR WAVE APPROACHES**

*The article deals with topical issues of increasing the effectiveness of rock fracture using the classical approach based on the Businessk problem using the hypothesis of deformation contours. The connection between*



*the geometrical parameters of the sealing core and the mechanical characteristics of the process of rock destruction by the cutter of the bucket was established. The analytical approach used made it possible to calculate the theoretical and operational productivity of digging a rotary excavator, depending on the physical and mechanical properties of the rocks.*

*Studies have shown that as a result of the stress concentration at the crack tip, a wave redistribution of accumulated rock mass arises. The pressure of the rock mass under the tool of the working body causes on the surface of the array contact stresses and the destruction of its surface layer. This contributes to the formation of a new free surface. The large size of the array ensures that the (leading) upper contours are pinched, bending without converging their ends to the load axis. Further stretching of the contour breaks in places of maximum deflection. With sufficient immersion of the material separation tool, due to displacement, it stops and the growth of the compaction core stops.*

*Selected and justified production boundary conditions for the destruction of rocks, namely productivity, specific energy intensity, efficiency and quality of excavation, with classical and molecular-wave approaches, and the method of their calculation has been developed. Establishment of qualitative-quantitative relations and spatial forms of parameters of the system with the help of the developed mathematical analogues, allowed to reduce energy losses in the destruction of rocks. The established energy and technological parameters of the digging processes allowed to establish the influence of geometric, kinematic and dynamic factors on the specific energy intensity of rock destruction by the excavator rotor. The obtained dependences of the power of the digging process on its productivity testify to their extreme connection, which allows to establish the digging modes and reduce the energy intensity of the process*

**Keywords:** rock, rotary excavator, fracture, compaction core, productivity, specific energy consumption, efficiency, excavation quality.

#### **References**

1. Korobova O. A. Lectures on soil mechanics. [Text] / O.A. Korobova - Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2015 - 120 p.
2. Wihman E. Quantum Mechanics / E. Wihman [Translation from English. A.Kazarin] M.: Nauka, 1996. - 390 p.
3. Protasov Y.I. Destruction of rocks / Y.I. Protasov - M.: Nedra, 2002. - 453 p.
4. Solod V.I. Mining machines and automated complexes / V.I. Solod, V.I. Zaykov, K.M. Pervov - M.: Nedra, 1998. - 503 p.
5. Surikov V.V. Fracture Mechanics of Frozen Soils / V.V. Surikov - L.: Stroyizdat, Leningrad. Branch, 1998. - 128 p.
6. Gorovoy A.I. Handbook of mining transport vehicles of continuous operation / A.I. Mount. - M.: Nedra, edited 04.09.2011 - 367 p.
7. Buckley D. Surface phenomena during adhesion and frictional interaction / D. Buckley: [trans. from English K. Pavlova]. - M.: Mechanical building, 1996. - 360 p. Edited 09.09.2016
8. Vladimirov V.M. Mining rotary excavators / V.M. Vladimirov. - M.: Nedra, 1992. - 278 s Edited 10/25/2012
9. Directory (cadastre) of the physical properties of rocks. / Ed. N.V. Melnikova, V.V. Rzhevsky, M.M. Protodyakonova. - M.: Nedra, 1995. - 379 p. Edited May 7, 2009
10. Getopanov V.N. Rocks and transport machines and complexes / V.N. Getopanov, N.S. Goodilin. - M.: Nedra, 1991. - 304 p.
11. Recommendations for the compilation of planned prices for building materials, structures and products, the operation of construction vehicles and mechanisms, motor vehicle services and auxiliary production. (Stage 1) / Ministry of Transport Construction. - The main scientific and technical department. All-Union Design and Technological Institute of Transport Construction. - M.: VNTITRANSSTROY, 1990. - 229 p.

Надійшла 21.03.2019

Received 21.03.2019